

# Zwischen Pumpe und Plankton: Langzeituntersuchung des Zooplanktons in Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung



**Autorinnen:**

Imke Petersen und Dr. Antje Kakuschke,  
KLS Gewässerschutz GmbH

In Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung geschieht die Reinigung des Beckenwassers nicht über chemische Desinfektion, sondern über die Aufnahme von Algen und Bakterien durch Zooplankton im Beckenwasser sowie die Filtration des Wassers über technische Filtersysteme. In dem vorliegenden Artikel werden die Ergebnisse des langjährigen Zooplankton-Monitorings in Freibädern zusammengefasst und deren Zusammensetzung, Variabilität, Reinigungsleistung und Beeinflussung durch die unterschiedlichen technischen Systeme diskutiert.

## Reinigungsleistung durch Zooplankton

Bei Zooplankton handelt es sich um kleine Tiere, die in der Wassersäule schweben. Dazu gehören kleine Krebstiere, bspw. Wasserflöhe (Cladocera) und Ruderfußkrebse (Copepoda), aber auch andere mehrzellige Organismen, Räderthiere (Rotatoria) und einzellige Organismen (Flagellaten und Ciliaten). Diese Tiere filtrieren das Wasser und nehmen dabei Phytoplankton (im Wasser schwimmende mikroskopische Algen, siehe AB 03/2025, Seite 174 ff.) und Bakterien auf, von

denen sie sich ernähren. Je nach Art und Umweltbedingungen können diese Tiere ca. 0,01–130 ml Wasser pro Individuum und Tag filtrieren. Bei einer hohen Dichte an Zooplankton-Organismen wird das Beckenwasser mehrfach an einem Tag durchfiltriert. Das Zooplankton hat daher eine wichtige Bedeutung einerseits für die In-situ-Entkeimung und andererseits für die Verbesserung der Sichttiefe, die durch planktische Algen reduziert sein kann. Es erbringt damit eine kostengünstige Ökosystemdienstleistung.

Zooplanktonorganismen durchlaufen Lebenszyklen, die von wenigen Tagen über Wochen (bei Ciliaten und Räderthieren) bis hin zu mehreren Monaten (bei Wasserflöhen und Ruderfußkrebse) reichen. Ihre Populationen, und damit auch die Reinigungsleistung des Zooplanktons, unterliegen ausgeprägten jahreszeitlichen Schwankungen, die maßgeblich durch das verfügbare Nahrungsangebot bestimmt werden. Ein grundlegender Artikel über das Zooplankton in Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung wurde bereits 2010 veröffentlicht (siehe AB 03/2010, Seite 163 ff.: „Keimelimination durch Zooplankton“).



## Monitoring des Zooplanktons

Die Richtlinie für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (FLL, 2011) empfiehlt eine monatliche Untersuchung des Zooplanktons während der Badesaison. Dafür müssen ein entsprechendes Planktonnetz erworben, sowie die Probenahmestelle (meist am tiefsten Punkt des Bades) und die Länge des Netzzuges festgelegt werden. Das Netz wird langsam abgesenkt und anschließend mit gleichmäßiger Geschwindigkeit nach oben gezogen (siehe Abbildung 2).

Die Zooplankter sammeln sich im Becher, der über einen Ablasshahn in die Probeflasche entleert wird. Dieser Vorgang wird entsprechend der Dichte der Zooplankter mehrfach wiederholt.

Eine mikroskopische Analyse des Zooplanktons erfolgt durch biologisches Fachpersonal. Laut FLL müssen die folgenden Gruppen unterschieden werden:

- Rotatoria (Rädertiere)
- Copepoda (Ruderfußkrebse)
- Cladocera (Wasserflöhe).

↑  
1a | Wasserfloh der Gattung *Daphnia* (ca. 2,5 mm)

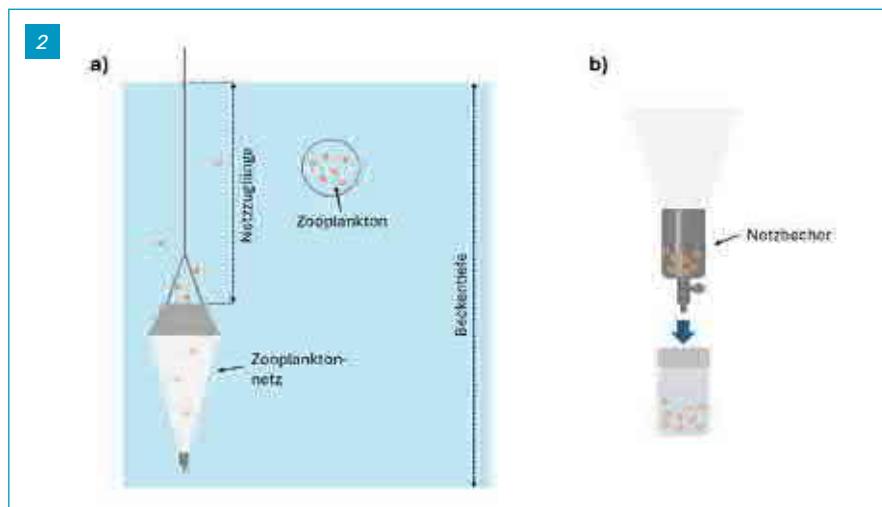
1b | Jugendstadium (Copepodid) eines Ruderfußkrebses (ca. 0,6 mm)

1c | Rädertier der Art *Keratella cochlearis* mit einem Eipaket (ca. 0,1 mm);  
Quellen: Imke Petersen,  
KLS Gewässerschutz

Von den Organismen dieser Gruppen erfolgt eine Zählung und Bestimmung der Art bzw. Gattung.

→

2 | Skizze einer Zooplankton-Probenahme  
a) Das Zooplanktonnetz wird bis zum Grund des Beckens abgelassen und anschließend durch die Wassersäule nach oben gezogen.  
b) Das Zooplankton sammelt sich in dem Netzbecher und kann dort zur Analyse entnommen werden. Quelle: Imke Petersen, KLS Gewässerschutz



Bad	maximale technische Wasserumwälzrate	Anzahl der Probenahmen	Aufbereitungssystem
NB_01	0,6	107	interner Nassfilter und Trockenfilter
NB_02	1,3	89	interner und externer Nassfilter, Trockenfilter
NB_03	1,3	89	interner Nassfilter und Trockenfilter
NB_04	0,8	97	interner Nassfilter
NB_05	8,2	60	Trockenfilter
NB_06	3,0	80	Trockenfilter
NB_07	2,4	56	externer Nassfilter und Trockenfilter
NB_08	2,3	127	externer Nassfilter
NB_09	2,4	61	interner Nassfilter und Trockenfilter
NB_10	11,0	46	interner Nassfilter und Trockenfilter
NB_11	5,8	51	interner Nassfilter und Trockenfilter
NB_12	2,0	54	externer Nassfilter
NB_13	3,3	45	interner Nassfilter und Trockenfilter
NB_15	2,2	41	Trockenfilter
NB_18	3,1	30	externer Nassfilter
NB_20	0,8	24	interner Nassfilter und Trockenfilter
NB_21	2,2	26	externer Nassfilter

Der anschließenden Berechnung der Filtrationsraten der drei Gruppen liegt eine Literaturdatenbank zugrunde. Abschließend erhält man die mittlere Filtrationsleistung der Zooplanktongemeinschaft von bspw.

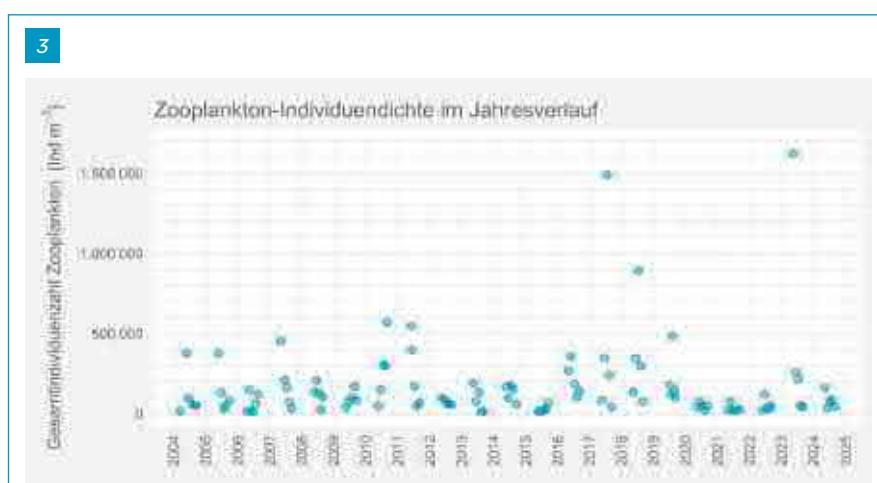
1 m<sup>3</sup> pro m<sup>3</sup> Beckenwasser pro Tag (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>). Dies würde bedeuten, dass das gesamte Beckenwasservolumen einmal pro Tag durch das Zooplankton durchfiltriert wird.

Tabelle 1: Untersuchte Bäder mit biologischer Wasseraufbereitung. Technische Daten zur Wasseraufbereitung und Anzahl der Probennahmen für Zooplanktonuntersuchungen; Quelle: KLS Gewässerschutz

Die Zooplankton-Filtrationsrate ist nicht nur ein wichtiger Parameter zur Einschätzung der In-situ-Entkeimung, sondern geht auch in die Berechnung der Nennbesucherzahl eines Bades ein. In der FLL ist als Mindest-Filtrationsrate des Zooplanktons ein Wert von 0,04 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> angegeben.

### Langzeituntersuchung von Zooplankton und deren Filtrationsleistung

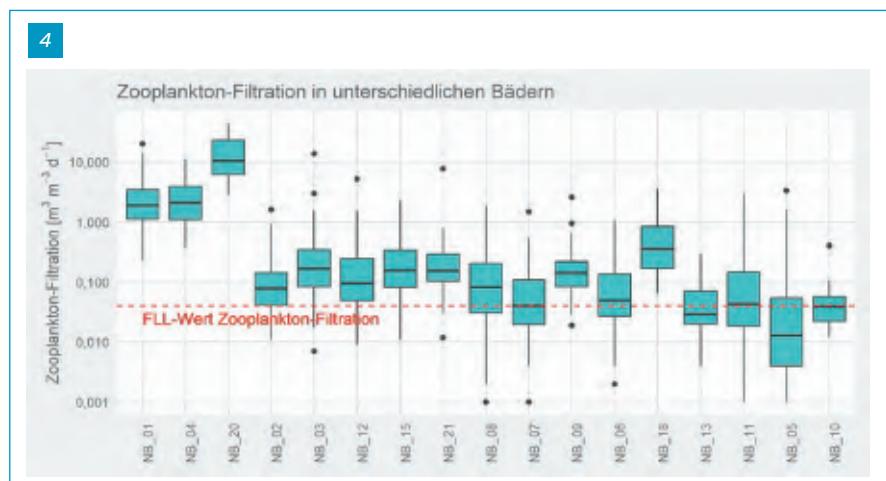
Um die Variabilität der Zooplankton-Filtration in unterschiedlichen Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung zu untersuchen, wurden Daten von 17 Anlagen zusammengetragen. In diesen Bädern wurden Zooplankton-Daten über jeweils fünf bis zwanzig Jahre erhoben. Insgesamt wurden hierbei 1 083 Proben untersucht (siehe Tabelle 1). Berechnet man den Mittelwert aus allen gewonnenen Daten, ergibt sich eine mittlere Filtrationsrate von 1,05 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>. Das bedeutet, dass 100 % des Beckenwassers am Tag durchfiltriert werden. Jedoch muss man beachten, dass der Median aller Werte bei 0,12 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> liegt, was auf eine hohe Variabilität der Werte hinweist.“



3 / Gesamtindividuenzahl aller Zooplankter (Rotatoria, Copepoda, Cladocera) in dem Bad NB\_1 über den Zeitverlauf von 20 Jahren; Quelle: KLS Gewässerschutz

→

4 | Boxplot der Zooplankton-Filtration in unterschiedlichen Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung, dargestellt in logarithmischer Skalierung. Die Bäder sind nach den maximalen Wasserumwälzraten ( $m^3 m^{-3} d^{-1}$ ) des technischen Filtersystems sortiert (links entspricht geringster Umwälzrate). Der FLL-Wert zur Berechnung der Nennbesucherzahlen liegt bei einer Filtrationsrate von  $0,04 m^3 m^{-3} d^{-1}$ ; Quelle: KLS Gewässerschutz



Die Auswertung zeigt starke Unterschiede in der Filtrationsleistung der im Bad vorhandenen Zooplankton-Gemeinschaft, sowohl im Saison- und Jahresverlauf (siehe Abbildung 3) als auch zwischen den Bädern. Da sich Bäder mit einer biologischen Wasseraufbereitung insbesondere durch die technischen

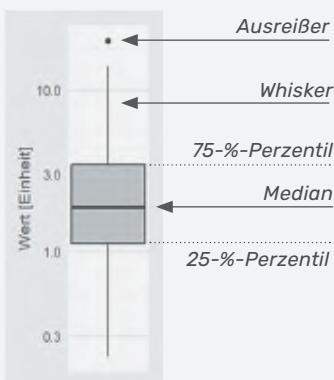
Wasserumwälzraten unterscheiden, wurde dieser Parameter im Detail betrachtet (siehe Abbildung 4). Es zeichnen sich folgende Ergebnisse ab:

- Besonders hoch sind die Filtrationsraten des Zooplanktons in drei Bädern, die sich durch sehr geringe Wasserumwälzraten von weniger als

einmal pro Tag und ausgeprägte submerse Aquakulturen (interne Nassfilter) im Beckenbereich auszeichnen.

- In sechs Bädern mit einer Wasserumwälzrate bis zu  $2,3 m^3 m^{-3} d^{-1}$  liegt die mittlere Filtrationsrate des Zooplanktons immer über dem FLL-Mindestwert von  $0,04 m^3 m^{-3} d^{-1}$ .

INFO



Ein **Boxplot** zeigt die Verteilung der Daten an. In der Mitte befindet sich der **Median**, dies ist der mittlere Wert aller Daten. Darunter und darüber befinden sich die **25-%- und 75-%-Perzentile**, welche 25 % bzw. 75 % der Daten umfassen. Die Box umfasst also 50 % der Daten um den mittleren Wert herum. Die **Whisker** umfassen Daten, die außerhalb der mittleren 50 % liegen, jedoch nicht mehr als 1,5-mal von den mittleren 50 % abweichen. Die **Ausreißer** beschreiben Werte, die stärker von der restlichen Verteilung der Daten abweichen.

►

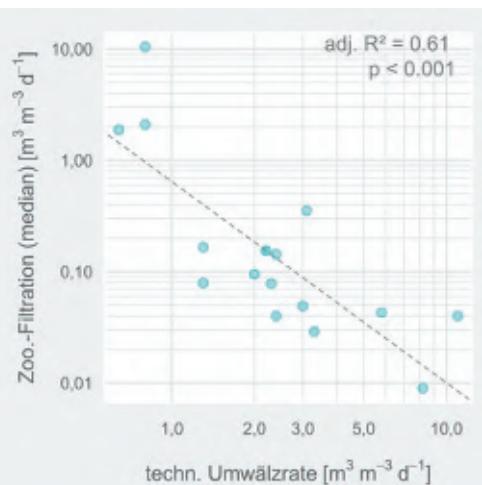
**LEGIO**  
.com

LEGIO ist Ihr Spezialist für reines Wasser, ohne Legionellen und andere Bakterien. Egal ob unter der Dusche oder am Wasserhahn. Durch unsere innovativen Produkte bieten wir für Ihre Gäste und Kunden ein sorgenfreies Duschvergnügen. Und im Falle einer positiven Wasserbeprobung ist mit unseren Filtern der Duschbetrieb sofort wieder möglich.

Mehr unter [www.legio.com/produkte](http://www.legio.com/produkte)

LEGIO.tools GmbH Tel: +49 (0) 7127 1806-0 E-Mail: [info@legio.com](mailto:info@legio.com)

5



5 | Median der Zooplankton-Filtration und maximale technische Wasserumwälzrate unterschiedlicher Bäder mit biologischer Wasseraufbereitung in logarithmischer Darstellung. Die beiden  $\log_{10}$ -transformierten Werte sind negativ korreliert. Bei steigender technischer Umwälzrate nimmt die Filtration durch das Zooplankton ab; Quelle: KLS Gewässerschutz

- Von den acht untersuchten Bädern mit einer Wasserumwälzrate  $\geq 2,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  lag die mittlere Zooplankton-Filtrationsleistung bei zwei Bädern über, bei vier Bädern annähernd bei  $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  und bei zwei Bädern unterhalb dieses Wertes.

gespült wird, wodurch die Zooplanktonpopulationen in schneller durchströmten Systemen geringer ausfallen, während in langsamer durchströmten Bädern eine Entwicklung und Reproduktion des Zooplanktons eher möglich ist. Aus dem Median der Zooplankton-Filtration und

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass bei einer hohen Wasser-austauschrate über ein Filtersystem ein größerer Anteil an Zooplankton aus dem Becken ausge-

der maximalen technischen Wasser-umwälzrate ergibt sich ein signifikanter Zusammenhang (siehe Abbildung 5).

Zusätzlich können bauliche Eigen-schaften des Bades, bspw. Flach-wasser- und Tiefenwasserzonen, die Beschartung und das Vorhandensein von Pflanzzonen im Wasser (Aqua-kultur) die Zooplanktonpopulation stark beeinflussen. Möglicherweise ist die Gestaltung des Beckens mit der Wasserumwälzrate verbunden, sodass der beobachtete Zusammen-

## Werden Sie Abonnent/-in, ...

... lesen Sie jeden Monat Aktuelles aus der Bäderbranche und finden Sie Ihren Traumjob oder Personal in unserem umfangreichen Stellenmarkt!



Sie interessieren sich  
für ein Abo?

Ihre Ansprechpartnerin:



Ute Kraemer  
0201 87969-28  
u.kraemer@dgfdb.de



Deutsche Gesellschaft  
für das Badewesen

hang zwischen Zooplankton-Filtration und Wasserumwälzung verstärkt wird. Nicht zuletzt spielt auch die Nahrungsgrundlage, also der Nährstoffeintrag und die daraus resultierende Phytoplanktongemeinschaft, eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von Zooplankton.

### Zooplanktonverlust über das Filtersystem

Der Verlust von Zooplankton über das Filtersystem wurde von KLS Gewässerschutz in einer Langzeitstudie über zehn Jahre in einem Bad mit biologischer Wasseraufbereitung (NB\_08) untersucht. Hierfür wurden

die Individuendichten verschiedener Zooplankton im Beckenwasser und in dem über Skimmer abgezogenen Rohwasser verglichen. Es zeigte sich, dass verschiedene Zooplankton-Gruppen (Rotatoria, Cladocera und Copepoda) in unterschiedlichem Ausmaß über den Ablauf verloren gehen.

Die Individuenzahlen von Rotatoria und Cladocera waren im Beckenwasser und im Rohwasser bei den jeweiligen Probenahmen ähnlich hoch (siehe Abbildung 6). Dies deutet darauf hin, dass diese Tiergruppen mit dem abgezogenen Wasser kontinuierlich aus dem Becken gespült werden.



**6** | Zooplankton-Individuendichten unterschiedlicher Taxa (Rotatoria, Cladocera und Copepoda), jeweils im Beckenwasser und Rohwasser gemessen. Die Daten sind in logarithmischer Skalierung visualisiert. Für Rotatoria und Cladocera zeigte der Wilcoxon-Rangsummentest keine signifikanten Unterschiede in den Individuendichten zwischen Becken- und Rohwasser. Die Individuendichten der Copepoda sind jedoch im Beckenwasser signifikant höher als im Rohwasser (\*\* =  $p > 0,001$ ). Der Verlust über das Rohwasser ist bei diesen Tieren also geringer; Quelle: KLS Gewässerschutz

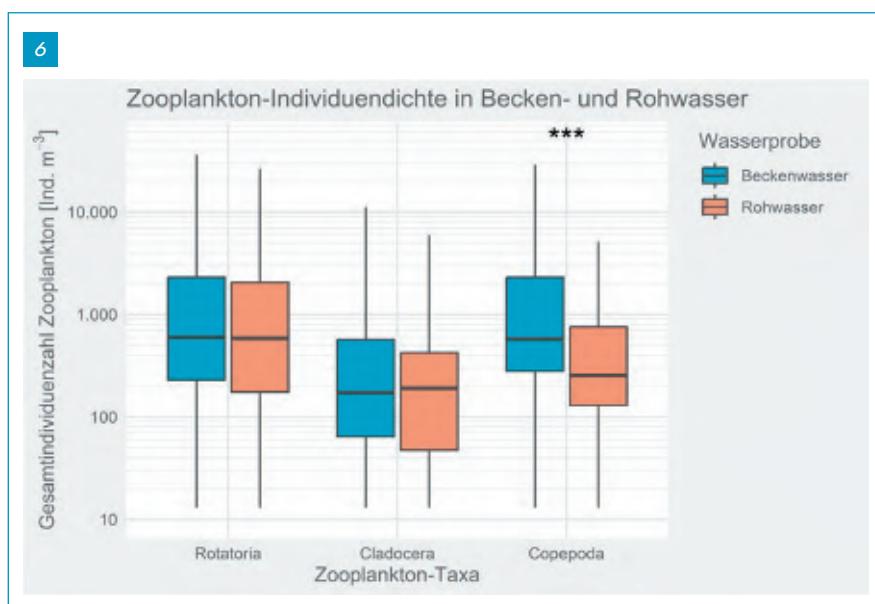


## ROIGK Sprayparks:

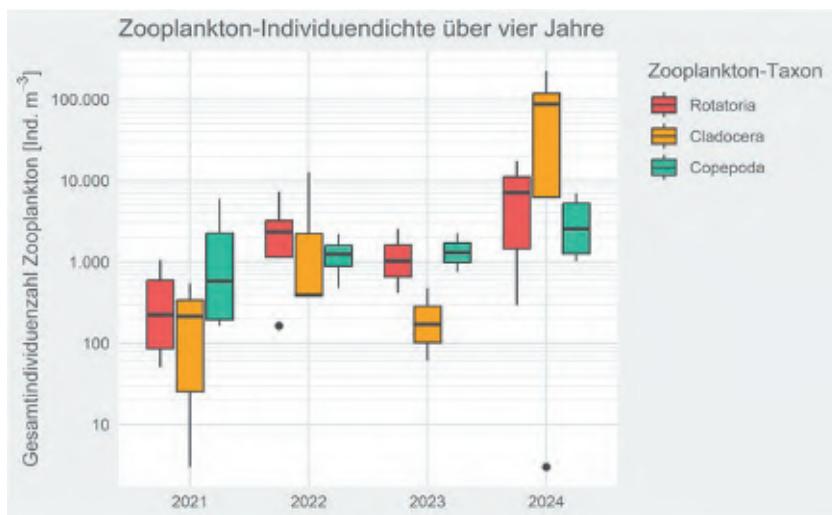
**Der spannende  
Wasserspielplatz für  
leuchtende Kinderaugen**

Sie betreiben mit voller Leidenschaft öffentliche Schwimmbäder, Hotels oder Parks und möchten für Familien zu einem grünen zukunftsweisenden Freizeitstandort mit überregionaler Bedeutung werden?

[www.roigk.de/sprayparks](http://www.roigk.de/sprayparks)



7



↑

7 | Zooplankton-Individuendichten unterschiedlicher Taxa (Rotatoria, Cladocera und Copepoda) über vier Jahre. Die Daten sind in logarithmischer Skalierung visualisiert. Im Jahr 2024 gab es einen starken Anstieg der Cladocera, der jedoch statistisch nicht signifikant ist ( $p > 0,05$ ). In diesem Jahr wurde die Pumpeneinstellung verändert, indem die Pumpenleistung nachts auf 10 % heruntergefahren wurde; Quelle: KLS Gewässerschutz

Die Copepoda zeigten signifikant geringere Individuenzahlen im Rohwasser als im Beckenwasser, hier war der Verlust über das abgezogene Wasser geringer. Möglicherweise sind diese Tiere schneller und können sich gegen die Strömung des Abzuges bewegen. Es könnte auch sein, dass diese Gruppe sich in tiefen Wasserschichten aufhält, sodass der Verlust über den Abzug an der Oberfläche geringer ausfällt.

## Perspektiven für ökologisches Management

Um den Verlust von Zooplankton zu reduzieren, wurde im Rahmen einer Feldstudie von Polyplan-Kreikenbaum und KLS Gewässerschutz in einem Bad mit biologischer Wasseraufbereitung im Jahr 2024 die nächtliche Pumpenleistung, und damit die Wasserumwälzung, systematisch reduziert. Die Zoo-

plankton-Analyse von diesem Jahr zeigte daraufhin eine Steigerung der Individuendichte, insbesondere der Cladoceren (siehe Abbildung 7). Es deutet sich an, dass die Reduzierung der Umwälzraten einen positiven Einfluss auf die Entwicklung der Zooplanktonpopulation hat. Die Studie soll nun in weiteren Bädern durchgeführt werden, um die Ergebnisse zu verifizieren.

Dabei kann es eine besondere Rolle spielen, zu welcher Uhrzeit die Pumpenleistung reduziert wird, da sich die Verteilung des Zooplanktons im Becken im Verlaufe des Tages wahrscheinlich verändert. Einige Zooplankter führen in natürlichen Gewässern eine tageszeitliche vertikale Wanderung in der Wassersäule durch. Um dem Fraßdruck und starker Sonneneinstrahlung in lichtdurchfluteten Wasserschichten zu entkommen, halten sie sich tags-

über in tiefen Wasserschichten auf und wandern erst zur Dämmerung oder nachts an die Oberfläche. Wenn der Abzug des Oberflächenwassers nachts pausiert, könnte dies den Verlust von Zooplankton über das Filtersystem reduzieren.

Insgesamt stützen die bisherigen Beobachtungen die Hypothese, dass der Wasseraustausch über das externe Wasseraufbereitungssystem den zooplanktonischen Bestand wesentlich beeinflusst. Das nächtliche „Pumpen-Experiment“ lässt vermuten, dass Eingriffe in die Pumpenzyklen die biologische Zusammensetzung wesentlich verändern können. Vor diesem Hintergrund eröffnet die gezielte Pumpensteuerung eine vielversprechende Perspektive für ein ökologisch optimiertes Management von Zooplanktongemeinschaften in Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung.

Um die Pumpensteuerung und die Gestaltung von Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung hinsichtlich einer optimalen Zooplanktondichte weiter zu verbessern, muss ein tieferes Verständnis der räumlichen und zeitlichen Bewegungsmuster der Zooplanktonarten entwickelt werden. Fragen zu bevorzugten Habitaten, zu möglichen tagszeitlichen Vertikalwanderungen und zu Auswirkungen der Gestaltung von Skimmern und Überlauftritten auf den Verlust von Zooplankton im Rohwasser sind dabei von zentraler Bedeutung. In den kommenden Jahren sollen gezielte experimentelle Studien diese Aspekte genauer beleuchten.